(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 456 368**

(51) Int. Cl.:

B63H 25/04	(2006.01)
G05D 1/02	(2006.01)
B63H 25/46	(2006.01)
B63H 11/107	(2006.01)
G06G 7/70	(2006.01)
G05D 1/00	(2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.12.2004** **E 11176084 (9)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.02.2014** **EP 2386480**

(54) Título: **Control de un barco propulsado por chorro de agua**

(30) Prioridad:

01.12.2003 US 525888

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
22.04.2014

(73) Titular/es:

ROLLS-ROYCE NAVAL MARINE, INC. (100.0%)
110 Norfolk Street
Walpole, MA 02081, US

(72) Inventor/es:

BARRETT, ANDREW F. y
JEFFERSON, JAMES R.

(74) Agente/Representante:

CURELL AGUILÁ, Mireia

ES 2 456 368 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Control de un barco propulsado por chorro de agua.

Antecedentes

La presente invención se refiere al control de un barco propulsado por chorro de agua. Los barcos propulsados por chorro de agua de este tipo son conocidos y pueden oscilar en su tamaño desde pequeñas embarcaciones particulares hasta botes de hasta 75 pies de longitud, o barcos con un tamaño incluso más grande.

Un barco accionado por chorro de agua se mueve a través del agua acelerando una corriente de agua a través de una tobera, moviendo así el barco en reacción a la corriente acelerada de agua. La tobera puede fijarse a la parte trasera del barco y dirigirse para producir fuerzas laterales en el barco que se utilizan para dirigir el barco. El chorro de agua está o bien en funcionamiento y bombeando agua o bien no está en funcionamiento ni bombeando agua. También pueden usarse múltiples chorros de agua/toberas. La tobera en la parte trasera del barco también está equipada habitualmente con un álabe de inversión que, cuando está activado, redirige parte o todo el flujo de tobera para producir una componente invertida de empuje en el barco. Un propulsor de chorro de agua también puede posicionarse en o cerca de la proa del barco con su eje esencialmente perpendicular al eje proa-popa del barco para producir fuerzas laterales en la proa del barco. En combinación, el álabe de inversión de tobera trasera y el propulsor de proa pueden usarse para simultáneamente maniobrar la embarcación en cualquier rumbo o dirección deseados.

El barco puede estar equipado con una palanca de mando de múltiples ejes que permite al operario controlar simultáneamente el ángulo de tobera, la posición del álabe de inversión, y los propulsores de proa. El movimiento hacia delante y atrás de la palanca de mando activa el álabe de inversión. El movimiento lateral de la palanca de mando activa el propulsor de proa, y el ángulo de tobera se controla mediante un movimiento de giro de la palanca de mando.

La patente US nº 6.234.100 concedida a Fadeley, con fecha de 22 de mayo de 2001, da a conocer un *Stick Control System For Waterjet Boats* y la patente US nº 6.230.642 concedida a McKenney, con fecha de 15 de mayo de 2001 da a conocer un *Autopilot Based Steering and Maneuvering System For Boats*. La solicitud de patente US nº 2003/0054707 concedida a Morvillo, con fecha de 20 de marzo de 2003, da a conocer un *Integral Reversing and Trim Deflector and Control Mechanism* y la solicitud de patente US nº 2003/0079668 concedida a Morvillo, con fecha de 1 de mayo de 2003 da a conocer un *Method and Apparatus for Controlling A Waterjet Driven Marine Vessel*. Estas dos patentes y dos solicitudes de patente son incorporadas a la presente memoria como referencia.

En el documento US no 3.974.792 A, que es considerado la técnica anterior más próxima, es divulgada una unidad de perforación controlada direccionalmente, semisumergible. Esta unidad de perforación divulgada está compuesta sustancialmente por un casco superior simplificado sumergible, propulsores transversales para el control direccional de la unidad y hélices de propulsión en serie en el casco sumergible que se hacen funcionar mediante un sistema de control para mantener la estación sobre la boca de pozo en un rumbo óptimo para minimizar las fuerzas del medio, tales como el viento, la corriente y la acción del oleaje. La unidad de perforación y el procedimiento para su funcionamiento según el documento US no 3.974.792 pueden ser adaptados a otras operaciones marítimas en las que se requiere estabilidad y en las que el trabajo que es desarrollado no depende del rumbo de la embarcación.

El documento US no 3.867.712 A divulga un filtro de adaptativo. Este filtro adaptativo es utilizado para atenuar los componentes de señal en una banda de frecuencia que presenta un ancho de banda independientemente variable y una frecuencia central mientras se introducen un cambio de fase y una demora mínimos en los componentes de señal fuera de la banda de frecuencia. El filtro adaptativo puede ser utilizado ventajosamente en una estación automática que mantiene o ubica el aparato para un barco.

Son divulgados un procedimiento y un sistema para maniobrar un objecto móvil mediante el documento EP 365 301 A1. El procedimiento de maniobra móvil comprende establecer un punto de destino, en el que es calculado en tiempo real un valor de propulsión que minimiza o maximiza un índice de rendimiento asociado con una o más variables de estado y la propulsión requerida para que el objeto móvil alcance el punto de destino y que considera las condiciones no lineales inherentes al objeto móvil, tal como un barco. El barco es desplazado sobre la base del valor de propulsión calculado.

A pesar del grado de control ofrecido por estos sistemas de control de dirección y maniobra, sigue existiendo la necesidad de un sistema de control que mejore los algoritmos de control para proporcionar un sistema de control más predecible que sea de funcionamiento más intuitivo.

Sumario de la invención

Un procedimiento para corregir el rumbo de una embarcación, incluye medir una cantidad de error inducida por el efecto de al menos una alteración en al menos uno de datos de rumbo x, y y z a partir de un sensor de rumbo, adquirir al menos uno de datos de rumbo x, y y z a partir de un sensor de rumbo, determinar si la al menos una

alteración se está produciendo, corregir los datos del rumbo al producirse una alteración añadiendo un factor al rumbo que compensa la cantidad medida de error inducido por la alteración y proporcionar los datos correctos del rumbo para el control del rumbo de la embarcación.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es un diagrama de flujo lógico para una primera realización de la presente invención;
la figura 2 es un diagrama de flujo lógico para una segunda realización de la presente invención;
la figura 3 es un diagrama de flujo lógico para una tercera realización de la presente invención;
la figura 4 es un diagrama de flujo lógico para una cuarta realización de la presente invención;
la figura 5 es un diagrama de flujo lógico para una quinta realización de la presente invención;
la figura 6 es un diagrama de flujo lógico para una sexta realización de la presente invención; y
la figura 7 es un diagrama de flujo lógico para una séptima realización de la presente invención.

Descripción de la invención

La presente invención incluye diversos procedimientos de control para controlar el barco propulsado por chorro de agua. Estos procedimientos pueden utilizarse individualmente o en combinación con uno o varios de los demás procedimientos de control para controlar el barco. En la realización preferida, el sistema de control incluirá diversos o todos los diversos procedimientos de control.

Estos procedimientos de control pueden incorporarse en el controlador que controla la activación de la tobera, el álabe de inversión y el propulsor de proa del barco y en utilización, funcionarán como se describe más abajo, y pueden realizarlo teniendo en cuenta la entrada del operario, datos de movimiento del barco y otros datos recopilados o parámetros operativos deseados. En todos los procedimientos, también pueden utilizarse dispositivos de empuje alternos. Los procedimientos pueden utilizarse con una embarcación que presente uno o más conjuntos de tobera y álabe de inversión, que puedan controlarse al unísono o de manera independiente.

Mantener el rumbo de una embarcación

Un problema con los sistemas actuales de control de chorro de agua del tipo al que se ha hecho referencia anteriormente es su incapacidad para mantener el rumbo de manera eficaz. Para ser más viable desde un punto de vista comercial, el sistema de control debe proporcionar al operario la sensación de que tiene un control completo del barco. Un viraje excesivo y un funcionamiento en línea recta inestable o erróneo no proporcionan al operario la sensación de tener el control.

En un procedimiento de control de la invención, el sistema de control mantiene el rumbo apropiado del barco a cualquier velocidad sin la intervención del operario. Para mantener el rumbo, el procedimiento de control compara el rumbo deseado con el rumbo real y desvía la tobera para corregir el error. Independientemente de la velocidad del barco, incluyendo la velocidad cero, el controlador mantiene automáticamente el rumbo del barco controlando simultáneamente todos los propulsores, incluyendo los propulsores de proa, y dispositivos de empuje vectorial tales como chorros de agua.

Véase la figura 1 para un diagrama de flujo lógico de este procedimiento de control. En primer lugar, se adquiere el rumbo deseado. Éste puede o bien introducirse en el sistema o bien captarse por el sistema basándose en un rumbo en un momento de adquisición específico. A continuación se adquiere el rumbo real en la etapa 10. En una realización preferida, éste se adquiere a partir de un sensor de rumbo de tres ejes montado de forma fija en el barco y conectado al controlador electrónico. El sensor tiene tres ejes, cada uno de los cuales utiliza un sensor magnetoinductivo que mide el campo magnético de la Tierra. Como el sensor de rumbo está montado de forma fija en el barco y el barco está sometido a movimientos de balanceo y cabezada por las olas, la señal procedente del sensor de rumbo puede verse afectada negativamente. Para corregir esta condición, puede utilizarse un sensor de cabezada y balanceo montado en el barco para medir la cabezada y el balanceo y proporcionar una señal indicativa de la cabezada y el balanceo al controlador para permitir la corrección de la señal de rumbo. También pueden utilizarse otros tipos de sensores de rumbo.

Una vez adquirido el rumbo real, ya sea a partir de un sensor magnético o no, el error de rumbo se calcula en la etapa 12 restando el rumbo real del rumbo deseado. Como la dinámica del barco es diferente dependiendo de si el propulsor de proa está activo, a continuación se determina si el propulsor de proa está activo o no en la etapa 14.

Este procedimiento de control controla la dirección del barco por medio de un algoritmo que utiliza el error de rumbo (la diferencia entre el rumbo deseado y el rumbo real) para mantener un rumbo. Este algoritmo está constituido por la suma de tres términos. Un término es proporcional al error de rumbo, un término es proporcional al error de rumbo que se ha acumulado a lo largo del tiempo, y el último término es proporcional a la tasa de cambio del error de rumbo. El resultado de esta suma se utiliza para posicionar el dispositivo de dirección. Cada término de suma presenta un multiplicador asociado con el mismo, que determina el efecto de esos términos en la salida global. Estos multiplicadores se denominan a menudo ganancias. La primera ganancia es la ganancia “P”. Ésta se denomina en

ocasiones ganancia de timón, puesto que esta ganancia controla cuánto del error de rumbo se aplica a la posición del dispositivo de dirección. Este término hace que el dispositivo de dirección se posicione a sí mismo de manera proporcional al error de rumbo, en la dirección que corrige el error de rumbo. La segunda ganancia es la ganancia "I". Ésta se denomina en ocasiones reglaje, puesto que de manera eficaz añade una compensación a la posición central del dispositivo de dirección a lo largo del tiempo. Esto elimina cualquier compensación de rumbo a largo plazo debido al viento y las olas. La tercera ganancia es la ganancia "D". Ésta se denomina en ocasiones contratimón. Este término hace que el dispositivo de dirección se posicione a sí mismo de manera proporcional a la velocidad de viraje del barco, en la dirección que se opone a la velocidad de viraje. También pueden utilizarse otros procedimientos de control o reglas.

Dependiendo de si el propulsor de proa está activo o no, se accederá a diferentes conjuntos de datos para determinar "P", "I" y "D". Tal como se muestra en las etapas 16a y 16b, "P", "I" y "D" diferirán basándose en las rpm del motor. Es decir, puesto que la cantidad de flujo a través de la tobera aumenta a medida que aumentan las rpm del motor, es deseable hacer que los factores "P", "I" y "D" sean dependientes de las rpm del motor. Aunque los factores "P", "I" y "D" disminuirán generalmente a medida que aumentan las rpm del motor, puede que éste no sea el caso en algunas circunstancias, tal como se muestra para el factor "P" en la etapa 16b. Los factores "P", "I" y "D" también pueden ser dependientes de la velocidad del barco. Por ejemplo, en un modo de operación de varada a baja velocidad, los valores de ganancia se fijarían generalmente superiores para producir un control de corrección suficiente de la tobera. A velocidades superiores, las magnitudes de ganancia se fijarían inferiores puesto que el barco es más sensible a los cambios en la tobera que a velocidades inferiores. Las diferentes curvas para cada factor pueden determinarse mediante la utilización de datos empíricos o mediante el cálculo teórico y pueden modificarse para la dinámica de un barco específico. El procedimiento puede tener en cuenta otros estados de los sistemas de propulsión y posicionamiento del barco, por ejemplo propulsor que empuja a babor, propulsor que empuja a estribor, posición del álabe, modo operativo, y posición de interfaz de control del operario, no mostrándose ninguno de ellos en el diagrama de flujo lógico.

En la etapa 18, $PtermT_0$, $ItermT_0$ y $DtermT_0$ se calculan basándose en los datos "P", "I" y "D" seleccionados en la etapa 16. $PtermT_0$ se calcula multiplicando "P" por el error de rumbo. $ItermT_0$ se calcula añadiendo el periodo de tiempo/iteración previo Iterm ($ItermT_{0-1}$) al factor "I" multiplicado por error de rumbo multiplicado por ($To - T_{0-1}$). $DtermT_0$ se calcula multiplicando "D" por la tasa de cambio del error de rumbo (determinado comparando el error de rumbo real con el error de rumbo a partir del periodo de tiempo previo y dividiéndolo entre ($To - T_{0-1}$)). Una vez calculados estos términos, se suman en la etapa 20 para llegar a Control $OutT_0$, que es la señal utilizada para controlar la cantidad de desviación de la tobera en la dirección deseada.

En las etapas 22 y 24 que siguen a la etapa 20, la cantidad de desviación de la tobera y la tasa de desviación máxima de la tobera indicada por la etapa 20 pueden limitarse basándose en las rpm del motor. A medida que aumentan las rpm del motor, aumenta el efecto de la desviación de la tobera. Por tanto, estas limitaciones impuestas en las etapas 22 y 24 evitan la desviación de la tobera a un ángulo demasiado grande o tasas de cambio de ángulo demasiado grande que pueden permitir que el barco se vuelva inestable o haga sentir inestable al operario. La señal, limitada o no en las etapas 22 y 24 se proporciona entonces para el control de la tobera en la etapa 26.

Esta señal puede ser una señal directa al actuador de tobera o puede utilizarse para señalizar otro componente que controla el actuador de tobera. El ciclo se repite entonces en la etapa 28, volviendo a la parte superior del bucle. En una realización, este ciclo se repite aproximadamente 20 veces por segundo aunque esta frecuencia puede modificarse si se desea.

Este procedimiento de control permite al barco mantenerse de manera precisa en un rumbo deseado sin una entrada adicional por parte del operario del barco ajustando la desviación de la tobera basándose en los datos seleccionados. Incluye limitar factores que evitan que una corrección del rumbo se produzca demasiado rápido de modo que el barco se vuelva inestable o los pasajeros se sientan incómodos. Este procedimiento puede implementarse como hardware, software o una combinación de ambos. Puede incorporarse en un controlador de navegación existente para el barco o puede ser un componente independiente. Pueden utilizarse otros dispositivos de empuje vectorial, por ejemplo, el timón. Una ventaja de este procedimiento es que el operario no tiene que emplear la interfaz de piloto automático para ajustar la sensibilidad cuando se cambia la velocidad. Además, cuando se amarra el barco, el operario no tiene que preocuparse de que el barco se balancee en el varadero. El operario tampoco tiene que preocuparse de que el barco se balancee cuando se activa el propulsor de proa.

Utilizar el sensor de velocidad de viraje angular y el sensor de rumbo para calcular el rumbo

Otra característica de la presente invención es un procedimiento que utiliza un sensor de velocidad angular en combinación con un sensor de rumbo para calcular el rumbo real actual para su visualización o para su utilización en el control del movimiento del barco. El sensor de rumbo puede estar en forma de 1) un sensor de rumbo magnético de tres ejes, al que en ocasiones se hace referencia como sensor de rumbo fijo, utilizado preferiblemente en combinación con un sensor de cabezada y balanceo tal como se indicó anteriormente para la corrección de errores; 2) un sensor de tipo montado sobre suspensión cardánica; 3) un sistema de posicionamiento global y/u otro tipo de sistema/sensor de rumbo.

Muchos sensores de rumbo filtran sus salidas de modo que durante una maniobra rápida, la salida del sensor puede quedarse atrás, excederse y/o de otro modo no reflejar el rumbo real del barco. Puede ser que los sistemas de posicionamiento global de una gama de precios moderada no se actualicen lo suficientemente rápido o proporcionen la precisión necesaria para un control del barco en tiempo real preciso. Además, puede ser que el sistema GPS no reciba la información necesaria por satélite para proporcionar los datos correctos para calcular el rumbo real. Por tanto, cuando los datos de rumbo real utilizados para calcular el rumbo son imprecisos o inexistentes, el procedimiento actual puede compensarlo. El procedimiento actual utiliza un sensor de velocidad de viraje angular, tal como un sensor de tipo giroscópico, para producir una señal, utilizada en combinación con los datos desde el sensor de rumbo, para calcular el rumbo real si se determina que no es probable que los datos de rumbo proporcionados por el sensor de rumbo reflejen el rumbo real, o entre actualizaciones de rumbo (como en un sistema GPS). Como ejemplo de implementación de este procedimiento en el que se filtra la señal a partir de un sensor de rumbo y no refleja el rumbo real, véase la figura 2.

Por tanto, hasta que se pueda confiar de nuevo en que los datos a partir del sensor de rumbo son precisos, se calculan los datos del rumbo utilizando datos de velocidad de viraje de rumbo. En el procedimiento mostrado, el rumbo se adquiere a partir del sensor de rumbo en el momento T_0, etapa 30. En la primera iteración, rumboT_0 calculado = rumboT_0 de sensor de rumbo, etapa 32. La velocidad de viraje de rumbo se adquiere entonces a partir de un sensor de velocidad de viraje angular en el momento T_{0+1}, etapa 34. A continuación se determina si la velocidad de viraje de rumbo está por encima o por debajo de un umbral predeterminado en la etapa 36. Si está por debajo del umbral, se supone que no se está realizando un viraje tan rápidamente de modo que sea probable que los datos a partir del sensor de rumbo sean imprecisos. Por tanto, el rumboT_0 de sensor de rumbo se proporciona a cualquier modo o procedimiento de control que requiera tales datos en la etapa 38, el momento T_0 se reajusta en la etapa 40 y una nueva iteración puede comenzar en la etapa 30. Si la velocidad de viraje de rumbo está por encima del umbral en la etapa 36 de modo que se considere que el rumbo a partir del sensor de rumbo pueda ser impreciso, se calcula un rumbo calculado en la etapa 42 y el rumbo calculado se proporciona a cualquier modo o procedimiento de control que requiera tales datos en la etapa 44. A continuación se reajusta el momento T_0 en la etapa 46 y una nueva iteración puede comenzar en la etapa 34. Cuando la velocidad de viraje de rumbo cae por debajo del umbral predeterminado, la parte del rumbo calculado del bucle se abandonará en la etapa 38 y el proceso vuelve a la parte superior del diagrama de flujo, tal como se indicó anteriormente.

Puede utilizarse un procedimiento similar en un sistema en el que se utilizan datos de GPS para proporcionar datos del rumbo. Véase la figura 3. En este caso, puede ser que los datos de GPS no actualicen de manera suficientemente rápida como para proporcionar los datos requeridos del rumbo. Por tanto, entre actualizaciones, los datos del rumbo se calculan de nuevo utilizando datos de velocidad de viraje del rumbo. En el procedimiento mostrado, el rumbo de GPS se adquiere en el momento To, etapa 50. Este rumbo de GPS se proporciona a continuación en la etapa 52, y el rumboT_0 calculado se fija al rumboT_0 de GPS, etapa 54. A continuación se determina si se ha recibido una nueva actualización de GPS en el momento T_{0+1}, etapa 56. En este caso, el rumbo$T_{0=1}$ calculado se fija al rumbo$T_{0=1}$ de GPS en la etapa 58 y este rumbo de GPS se proporciona en la etapa 64. Si no se ha recibido una nueva actualización, la velocidad de viraje de rumbo se adquiere a partir de un sensor de velocidad de viraje angular en el momento T_{0+1}, etapa 60. Se calcula un rumbo calculado en la etapa 62 y el rumbo calculado se proporciona en la etapa 64. A continuación se reajusta el momento T_0 en la etapa 66, el rumbo calculado se reajusta en la etapa 68 y el proceso vuelve a la etapa 56 para determinar si está disponible una nueva actualización de GPS. Si no, se realiza una nueva iteración del bucle inferior. En este caso, el proceso abandona el bucle inferior y vuelve a la parte superior del diagrama de flujo.

El sensor de rumbo también puede ser vulnerable a alteraciones que afecten a su salida de modo que la salida no refleje el rumbo real. Por ejemplo, un sensor magnético de rumbo es muy sensible a las alteraciones magnéticas que pueden producirse por la operación del equipo en el barco. De manera similar, el sensor de tipo montado sobre suspensión cardánica puede ser sensible a los impactos o la vibración del barco, que pueden afectar a la precisión de su salida. La existencia de una alteración de este tipo puede determinarse mediante medición, tal como con un sensor de vibración/impacto que mide una cantidad de vibración/impacto. La existencia de una alteración también puede suponerse cuando se cumplen una o más condiciones predeterminadas. Por ejemplo, en una realización, se supone que se produce una alteración cuando el equipo eléctrico está funcionando, produciendo de este modo una interferencia magnética con un sensor de rumbo magnético. El controlador puede señalizarse cuando tal equipo está funcionando de modo que puede adoptar una acción correctora. Este procedimiento proporciona una manera para corregir el efecto negativo de la alteración sobre los datos del rumbo.

En una realización mostrada en la figura 4, se adquiere un rumbo en la etapa 70 y un rumbo calculado se fija como el rumbo adquirido en la etapa 72. A continuación se determina si se ha producido una alteración en la etapa 74. Si no, se supone que el rumbo adquirido a partir del sensor de rumbo es preciso y se proporciona en la etapa 76. El proceso vuelve entonces a la parte superior del diagrama de flujo. Si se determina que se produce una alteración de modo que no se considera que un rumbo recientemente adquirido sea preciso en el momento T_{0+1}, la velocidad de viraje de rumbo se adquiere a partir de un sensor de velocidad de viraje angular en el momento T_{0+1}, etapa 80. Un rumbo calculado se calcula en la etapa 82 y el rumbo calculado se proporciona en la etapa 84. A continuación se reajusta el momento T_0 en la etapa 86, el rumbo calculado se reajusta en la etapa 88 y el proceso vuelve a la etapa

74 para determinar si aún se produce una alteración. En este caso, se realiza una nueva iteración del bucle inferior. Si no, el proceso abandona el bucle inferior en la etapa 76 y vuelve a la parte superior del diagrama de flujo. Esta realización puede utilizarse para diferentes tipos de alteraciones y diferentes tipos de sensores de rumbo.

Las alteraciones magnéticas pueden tratarse de una manera específica. El sensor de rumbo magnético es muy sensible a las alteraciones magnéticas que pueden producirse por la operación del equipo en el barco (tal como motores eléctricos, solenoides, propulsores, detectores ultrasónicos de cardúmenes y bombas). El descubrimiento de esta sensibilidad condujo a la introducción de un sensor de velocidad de viraje inmune a las alteraciones magnéticas. Cuando la interferencia se anticipa por el procedimiento o se mide por el sensor magnético, el controlador ajusta el énfasis (ponderación) proporcionada a cualquier sensor afectado tal como se requiere para minimizar tales alteraciones magnéticas. De este modo, el controlador puede cambiar de manera preventiva las ganancias y seleccionar el sensor apropiado basándose en un conocimiento o medición a priori de las alteraciones provocadas por la utilización de dispositivos de alta alteración EM.

Una realización de este procedimiento utilizada específicamente para alteraciones magnéticas se muestra en la figura 5. Esta realización es similar al diagrama de flujo en la figura 1, pero en el lugar en el que ese diagrama de flujo determina si el propulsor de proa está activo, el presente diagrama de flujo determina si se está produciendo una alteración magnética. El rumbo a partir del sensor de rumbo se adquiere en la etapa 90 y se calcula un error de rumbo en la etapa 92. La aparición de una alteración se determina en la etapa 94. Si no existe ninguna alteración, los factores “P”, “I” y “D” no se ven alterados, etapa 96a. Si se produce una alteración, los factores “P”, “I” y “D” se ponderan de manera diferente en la etapa 96b que en la etapa 96a. El factor “D” es el factor derivativo, proporcional a una tasa de cambio del error de rumbo. Se deriva del sensor de velocidad y no del sensor magnético.

Se ha encontrado que la ponderación para este factor “D” se aumenta de manera deseable en presencia de una alteración magnética, mientras que la ponderación para los factores “P” e “I” debe disminuirse puesto que se derivan de una fuente magnética. Esto se muestra en la etapa 96b. Pterm, Iterm y Dterm se calculan entonces en la etapa 98, Control Out se calcula en la etapa 100 y la señal resultante se utiliza para controlar la tobera en la etapa 102, tras lo cual se reajusta el momento y comienza una nueva iteración. Cuando estas alteraciones magnéticas son temporales por naturaleza, tal como la activación de un solenoide de álabe, afectan principalmente al factor “D” mencionado anteriormente. En ausencia de un sensor de velocidad de viraje no magnético, la ponderación de este factor “D” puede reducirse, y la ponderación de los factores P e I se eleva durante una alteración. Pueden utilizarse otros sensores magnéticos y no magnéticos y cambiarse su ponderación relativa según sea apropiado.

En situaciones en las que la alteración magnética sea un fenómeno relativamente a largo plazo (tal como un propulsor de proa), pueden implementarse otros términos. En estos casos, cuando la interferencia se anticipa o mide por el sensor magnético en un eje dado, el controlador añade una compensación a cualquier eje implementado tal como se requiere para anular tales alteraciones magnéticas. Esta compensación se basa en una medición de las alteraciones la configuración inicial del sistema. En algunos casos (por ejemplo cuando sólo un eje está afectado por la alteración) ese eje se calcula a partir de las otras dos mediciones de eje. Por tanto, el algoritmo incluye un sistema programado para tener en cuenta automáticamente las alteraciones electromagnéticas.

Otra realización se muestra en la figura 6. En este caso, se supone que la aparición de una condición crea una alteración y los datos del rumbo se corrigen basándose en un conocimiento predeterminado del efecto de una alteración de este tipo sobre los datos del rumbo. Los datos de X, Y y Z magnéticos se adquieren en primer lugar en la etapa 106. En la etapa 108, se determina si se ha activado el solenoide de álabe de elevación. Si no, el proceso avanza a la etapa 112. En este caso, se ha determinado previamente, mediante la realización de pruebas, que un error específico se introduce en la medición del eje Y. Por tanto, la medición del eje Y se corrige en la etapa 110 añadiendo una compensación a la medición del eje Y adquirida que se ha determinado previamente para compensar el efecto de la activación del solenoide. En la etapa 112, se determina si se ha activado el solenoide de álabe de descenso. Si no, el proceso avanza a la etapa 116. En este caso, la medición del eje Y se corrige en la etapa 114. Puesto que se ha determinado que la activación del solenoide de álabe de descenso afecta a la medición del eje Y de manera diferente a la activación del solenoide de álabe de elevación, se añade una compensación diferente a la medición del eje Y adquirida en la etapa 114. En la etapa 116, se determina si el propulsor de proa se ha activado. Si no, el rumbo puede calcularse en la etapa 120 a partir de las mediciones de eje X y Z adquiridas y la medición del eje Y, se haya adquirido de la etapa 106 o corregido en las etapas 110 ó 114. Si el propulsor de proa se ha activado, la medición del eje Z se corrige en la etapa 118 mediante una fórmula predeterminada para corregir de la mejor manera el error introducido por la activación del propulsor de proa. El rumbo se calcula entonces en la etapa 120 con la medición del eje Z corregida. También pueden incluirse otras alteraciones en este procedimiento determinándose las correcciones de los factores mediante una realización previa de pruebas, hipótesis y/o medición.

Las diversas realizaciones dadas a conocer en la presente memoria, y diversos aspectos de tales realizaciones, pueden combinarse con otras realizaciones y/o aspectos de otras realizaciones para crear nuevas realizaciones. Un sistema preferido que incorpora la presente invención utilizará más de una de las realizaciones dadas a conocer.

Utilizar la velocidad de viraje para controlar el balanceo

Con los sistemas de control conocidos en el campo, cuando el operario desea salir de un viraje, se devuelve la orden de dirección a la posición central o neutra y la tobera se desvía automáticamente a la posición neutra. Esto da como resultado un balanceo retardado (particularmente en barcos con baja inercia con viento y olas) y habitualmente da como resultado un viraje en exceso cuando está disponible una característica de mantenimiento del rumbo o piloto automático.

En la presente invención, cuando el operario devuelve la palanca de control (u otro controlador) a la posición neutra, ordenando al barco a que salga de un viraje, el controlador detecta la velocidad de viraje del barco durante el balanceo, y opcionalmente antes de que comience el balanceo, y la tobera se desvía automáticamente de manera proporcional a la velocidad de viraje, para oponerse al viraje. La posición de la tobera se actualiza de manera continua con la velocidad de viraje durante todo el balanceo. Esto da como resultado un tiempo de respuesta más rápido, más repetible para finalizar un viraje. Cuando la dirección del barco se endereza (y el barco deja de virar), también lo hace la tobera de modo que el barco y la tobera se encuentran en el punto neutro simultáneamente cuando el barco completa el viraje. En casos en los que se dispone de una característica de mantenimiento de rumbo, el sistema de control adquiere entonces el nuevo rumbo. Puesto que el barco no está virando y la tobera está en posición neutra, no hay un viraje excesivo.

Véase la figura 7 para un diagrama de flujo lógico de este procedimiento de control. Para comenzar, la orden de posición de tobera para este procedimiento de control es cero, etapa 130. Esto significa que este procedimiento de control no modifica la posición de la tobera, ya sea la posición de la tobera neutra o virada. En la etapa 132, se determina si la palanca de control está descentrada, es decir, si el operario está realizando un viraje. Si no, el procedimiento de control vuelve a la etapa 132. Debe observarse, que existen controladores mecánicos diferentes para dirigir el barco. Estos pueden incluir un sistema de palanca de mando en el que la palanca de mando se hace rotar en la dirección deseada para dirigir el barco en esa dirección y también pueden incluir un sistema de palanca de mando en el que la palanca de mando se mueve hacia el lado deseado (sin rotación) para dirigir el barco en la dirección deseada. También pueden utilizarse otros controles de dirección sin modificar la aplicabilidad de este procedimiento de control, u otros procedimientos de control tratados en la presente memoria. Por tanto, la cuestión de si la palanca está descentrada es meramente una cuestión de si el operario está operando el control de dirección, cualquiera que sea el tipo, para dirigir el barco.

Si la palanca está descentrada, la orden de posición de tobera se fija como la orden de posición de palanca en la etapa 134 de modo que la posición de la tobera se correlaciona directamente con la posición de la palanca (ignorando los ajustes de la posición de la tobera mediante otros procedimientos de control). Entonces se reduce el filtrado de sensor de rumbo, si lo hay, en la etapa 136 y entonces se determina en la etapa 138 si la palanca ha vuelto al centro o no. Si no, el procedimiento de control vuelve a la etapa 134. Si la palanca está en el centro, la orden de posición de tobera se fija como el valor negativo de la velocidad de rumbo multiplicado por un factor constante k. La velocidad de rumbo puede determinarse a partir de un cálculo del cambio en el rumbo con el tiempo o puede proceder de un sensor de velocidad de rumbo. La constante k puede ser una constante específica determinada para el barco particular o puede accederse a ella a partir de una carta que depende de otros factores. Es sólo en la etapa 140 donde este procedimiento de control realmente envía una señal que se utiliza para ajustar la posición de la tobera desde donde estaría si este procedimiento de control no estuviera en funcionamiento.

Entonces se determina de nuevo si la palanca está descentrada en la etapa 142. En este caso, por ejemplo, puesto que el operario puede estar realizando un ligero ajuste del rumbo, el procedimiento de control vuelve a la etapa 134. Si la palanca todavía está en el centro, se determina en la etapa 144 si la velocidad de rumbo es inferior a un umbral predeterminado. Por debajo de este umbral, el barco está virando a una velocidad suficientemente lenta como para restablecer cualquier filtrado reducido en la etapa 136.

Si la velocidad de rumbo está por encima del umbral, el procedimiento de control vuelve a la etapa 140. Si la velocidad de rumbo está por debajo del umbral, los filtros de sensor de rumbo se restablecen en la etapa 148 y se determina si la velocidad de rumbo está por debajo de un segundo umbral inferior en la etapa 152. En este caso, se determina si el barco ha dejado de virar. Aunque esto indicaría que la velocidad de rumbo debe ser cero, se ha encontrado que debido al ruido, la velocidad de rumbo puede no indicar cero ni siquiera cuando el barco no está virando. Por tanto, se determina si la velocidad de rumbo está por debajo de un umbral que permitiría ruido pero que todavía sería un buen indicador de que no se está produciendo viraje o de que se realiza a una velocidad muy baja. Si está por debajo de este umbral predeterminado inferior, se supone que el barco ha dejado de virar, y el procedimiento de control vuelve a la parte superior del diagrama de flujo lógico en la etapa 130. Si la velocidad de rumbo está por encima del umbral inferior, el barco todavía puede estar virando todavía y el procedimiento de control vuelve a la etapa 140.

El controlador también puede recordar la cantidad de reglaje/compensación de la tobera (necesaria para mantener un rumbo) *in situ* antes de que el operario gire la palanca, y devolver la tobera a esa compensación cuando se devuelve la palanca a la posición neutra.

Estas características dan como resultado un tiempo de respuesta más rápido, más repetible entre cuando el operario libera el dispositivo de dirección y el rumbo final logrado una vez que se ha completado el viraje, y se elimina el viraje excesivo del rumbo final. También dan como resultado una vuelta a la posición neutral que parece más intuitiva para el operario compensando factores que el operario podría no haber detectado bien.

Elementos de control de posicionamiento previo para movimiento lateral

Los sistemas de control de chorro de agua conocidos también presentan problemas cuando inician o detienen una traslación lateral. Por ejemplo, con los actuales sistemas de control de piloto automático, en ambas maniobras, debe detectarse primero un error de rumbo antes de que el piloto automático pueda responder con un movimiento de ángulo de tobera de corrección.

Por ejemplo, cuando se inicia un movimiento lateral, la proa ya presenta un impulso lateral significativo en el momento en que se produce el movimiento de la tobera iniciado por el piloto automático. Esto da como resultado una guiñada del barco imprevista porque hay propulsión lateral a partir del propulsor de proa en la proa del barco pero todavía no hay propulsión lateral en la popa del barco a partir de la tobera.

En consecuencia, cuando el movimiento lateral se ha iniciado y el operario desea llevar el barco a un rumbo de parada o cambio, primero debe detectarse un error de rumbo antes de que el piloto automático pueda responder con un movimiento de tobera de corrección. En el momento en que se produce la acción iniciada por el piloto automático, la proa se ha ralentizado significativamente y la popa más pesada continúa moviéndose debido a significativamente más impulso lateral, dando como resultado de nuevo la guiñada del barco.

Para superar estos problemas de control, un aspecto de la presente invención utiliza algoritmos preventivos, de alimentación hacia delante (es decir, antes de que cambie la retroalimentación del rumbo) que posicionan de manera previa elementos de control en anticipación del error de rumbo que se desarrollará debido a los factores anteriores. Si se está iniciando el movimiento lateral, la tobera se mueve hasta una posición predeterminada apropiada que evitará la guiñada del barco antes de que pueda producirse un error de rumbo y/o que el piloto automático (u otro dispositivo de mantenimiento del rumbo) detecte el error de rumbo y realice un ajuste correspondiente. Este reposicionamiento de la tobera se fija en un ángulo predeterminado fijo basándose en las características del barco y en las compensaciones de la guiñada prevista. Asimismo, cuando el movimiento lateral se está ralentizando o se detiene, la tobera se mueve hasta una posición predeterminada apropiada que evitará la guiñada del barco antes de que pueda producirse el error de rumbo y/o que el piloto automático detecte el error de rumbo y realice un ajuste correspondiente. En la realización preferida, se utiliza el procedimiento de mantenimiento de rumbo para ajustar adicionalmente el ángulo de la tobera para tener en cuenta condiciones tales como viento o corrientes de agua que pueden introducir guiñada del barco.

Los parámetros de control para estos algoritmos pueden cambiarse en función del empuje, rpm del motor, velocidad del barco o modo de control.

Control de retardo de tiempo para minimizar el giro del barco

En un barco con múltiples propulsores, es decir, una tobera trasera, y un propulsor de proa, el barco responde de manera diferente cuando se accionan diversos tipos de propulsores. Por ejemplo, con un barco que se está propulsando lateralmente por la tobera trasera y un propulsor de proa, si se detienen ambos propulsores, la parte trasera del barco tendería a desviarse más que la proa debido a la diferencia en el impulso producido por el peso más ligero de la proa en comparación con el de la popa. A la inversa, cuando se inicia una maniobra lateral, la parte trasera tarda más tiempo que la proa en ganar impulso.

Para adaptarse a los diferentes tiempos de respuesta de una forma que pase desapercibida para el operario, se retarda la activación o desactivación de uno o más de los propulsores que producen una reacción rápida por el barco. Por ejemplo, cuando se inicia un movimiento lateral en un barco que es más pesado en la popa, se retarda la activación del propulsor de proa durante un tiempo corto una vez que se activa el propulsor trasero. Esto permitirá que la parte trasera gane impulso antes de que se active el propulsor de proa. El tiempo de retardo se fija de modo que el barco se mueva lateralmente de una manera muy intuitiva.

De manera similar, cuando el operario desea finalizar una maniobra lateral, por ejemplo devolviendo la palanca de mando a la posición neutra, el controlador desacoplará automáticamente el propulsor trasero y esperará un periodo de tiempo predeterminado antes de desacoplar el propulsor de proa para compensar la ralentización de la proa más rápidamente que la de la popa. Este procedimiento de control elimina la tendencia natural del barco a la guiñada como resultado de la diferencia en el impulso entre la proa y la popa. El retardo de tiempo puede cambiarse en función del empuje, rpm del motor, velocidad del barco, procedimiento de control, distribución de tamaño y peso del barco u otros factores.

Integración de funciones de piloto automático en el sistema de control del barco

En la actualidad, los barcos pueden emplear un sistema de piloto automático separado del controlador electrónico para controlar el barco. La presente invención puede integrar ciertas características del piloto automático en el sistema de control del barco incorporando un sensor de rumbo con el sistema de control del barco. Entonces ya no se requiere la utilización de un piloto automático convencional (y su hardware asociado). Todos los controles podrían estar en una manivela de control, haciendo que el funcionamiento del barco sea más fácil e intuitivo.

Por ejemplo, pueden integrarse las siguientes características de piloto automático en el sistema de control del barco:

a. Capacidad de mantenimiento de rumbo, capacidad de fijación de rumbo y capacidad de cambio de rumbo.

b. El reglaje/compensación necesario para mantener el rumbo puede cambiarse en función de la velocidad de viraje, duración del viraje, desviación de la tobera, empuje, cambio en el rumbo, etc.

c. El reglaje/compensación *in situ* antes de una maniobra lateral puede restablecerse después de la maniobra.

d. Las capacidades de avance leve del timón que normalmente vienen con un piloto automático se conseguirían con la misma palanca de control del barco.

e. Los puntos de referencia en la ruta, rumbos del piloto automático, etc. pueden obtenerse estableciendo una interfaz con un dispositivo separado tal como un trazador de cartas/GPS con una interfaz gráfica.

f. Los parámetros para mantener el rumbo pueden optimizarse para el procedimiento o modo de control dado. Por ejemplo, el sistema puede detectar cuándo el operario está haciendo funcionar el propulsor de proa a bajas velocidades para un movimiento lateral, y aplicar los parámetros apropiados al algoritmo y filtros.

Otros aspectos que pueden integrarse en el sistema de control de la presente invención incluyen:

g. Captar el rumbo en función de otro parámetro:

   i. Captación basada en velocidad de rumbo, para un movimiento suave, sin viraje excesivo, cuando se sale de un viraje.

   ii. Captación basada en una función de un cambio en el signo de la velocidad del rumbo o por debajo de un umbral para un movimiento suave, sin viraje excesivo, cuando se sale de un viraje.

   iii. Captación en función de la posición de la tobera para un movimiento suave, sin viraje excesivo, cuando se sale de un viraje.

   iv. Captación del rumbo basándose en una velocidad de rumbo casi cero. Los cálculos utilizando una velocidad de rumbo al inicio de un balanceo pueden utilizarse para visualizar o captar el rumbo anticipado en el que se encontrará el barco al final del viraje. La velocidad de rumbo al inicio de un balanceo puede utilizarse para compensar un sensor de rumbo retrasado determinando el retardo de tiempo antes de captar el rumbo.

h. Aplicar la tobera, timón como una función exponencial o logarítmica, no lineal de la velocidad del rumbo (menos sensible a pequeños cambios que a cambios más grandes) para minimizar un trabajo en exceso y prolongar la vida del actuador de tobera/bomba/motor. Esto en lugar de una banda inactiva con un término proporcional que varía linealmente con un cambio de la velocidad de rumbo (es decir, ganancia proporcional constante).

i. Compensar la interferencia de campo electromagnético del sistema electrónico compensando distorsiones de campo en función del modo o la posición de la palanca, por ejemplo, calcular el campo magnético de eje z a partir de z e y, cuando el propulsor está activado y compensar el eje y cuando los solenoides de álabe están energizados.

j. Compensar la interferencia de campo electromagnético del sistema electrónico controlando/regulando la corriente (el campo es proporcional a la corriente) en función del modo o la posición de la palanca, por ejemplo, compensar el eje y cuando los solenoides de álabe están energizados, compensar más cuando los solenoides de alta velocidad están energizados. La corriente puede regularse para mantener el campo constante.

k. Compensar la interferencia de campo electromagnético del sistema electrónico sincronizando mediciones de campo como en función del modo o la posición de la palanca, por ejemplo, no medir el campo magnético cuando se manipula la dirección de cambio de bomba (transitorio de campo/corriente grande).

l. Compensar la interferencia de campo electromagnético del sistema electrónico en función de la unidad de tiempo cuando se energiza/desenergiza (es decir, esperar que el campo disminuya antes de eliminar la compensación, o incluso hacer que una compensación sea una función de tiempo mientras el campo disminuye). Esto también puede utilizarse para la formación del campo.

m. Impulso de propulsor de proa proporcional a/en función de la posición de la palanca. Impulso automático del propulsor o uso de control proporcional del motor basándose en la posición de palanca.

n. Ajustar la desviación/compensación/posición integral/neutra/reglaje de la tobera en función de las rpm para compensar una salida del chorro de agua/dinámica el casco. Esto cambia la posición de dirección neutra en función de las rpm.

o. Determinar si el barco está planeando o no, basándose en las mediciones de las rpm y cabezada del barco. Cambiar automáticamente las ganancias según las condiciones del barco.

p. Cambiar las visualizaciones para el operador de manera automática o semiautomática con el modo de control.

Estos algoritmos simplifican la operación del barco y hacen que las características operativas del barco se aproximen a la intuición del operario. Además, automatizando determinadas funciones del operario, el barco puede controlarse de manera más agresiva puesto que se requiere menos acción por parte del operario para realizar los movimientos específicos del barco. Los movimientos del barco se suavizan controlando de manera proactiva las toberas basándose en las entradas del operario y no esperando a que se acumulen errores de rumbo.

Los parámetros para los algoritmos anteriores (por ejemplo, cantidad de desviación, constante de proporcionalidad, etc.) pueden cambiarse en función del empuje, rpm del motor, velocidad del barco, modo o procedimiento de control, peso y tamaño del barco, forma del barco y otros factores. Pueden utilizarse diferentes realizaciones en conjunto en un sistema de control y diversos aspectos de las diferentes realizaciones pueden combinarse de diferentes maneras para crear diferentes realizaciones. La presente invención también incluye el aparato con el que se implementan estos procedimientos de control.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para corregir el efecto negativo de una alteración sobre los datos de rumbo proporcionados por un sensor de rumbo de una embarcación, que comprende:

medir una cantidad de error de medición inducido por el efecto de por lo menos una alteración sobre por lo menos uno de entre datos de rumbo x, y, y z de un sensor de rumbo;

adquirir por lo menos uno de entre datos de rumbo x, y, y z del sensor de rumbo;

determinar si está produciéndose dicha por lo menos una alteración;

corregir los datos de rumbo al producirse la alteración añadiendo un valor de corrección a los datos de rumbo que compensa la cantidad medida de error de medición inducido por la alteración;

producir los datos de rumbo corregidos como un rumbo calculado para el control del rumbo de la embarcación.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que dicha por lo menos una alteración afecta a uno de entre los datos x, y, y z y los datos de rumbo son corregidos añadiendo el valor de corrección al afectado de entre los datos x, y, y z.

3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, en el que dicha por lo menos una alteración afecta a por lo menos dos de entre los datos x, y, y z y los datos de rumbo son corregidos añadiendo el valor de corrección a los afectados de entre los datos x, y, y z.

4. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, que comprende:

determinar el valor de corrección basándose en por lo menos un eje que no resulta alterado por la alteración.

5. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que el sensor de rumbo es un sensor de rumbo magnético y la alteración es por lo menos una de entre: el funcionamiento de un propulsor de proa de la embarcación, el funcionamiento de un álabe de inversión de la embarcación, y el funcionamiento de otro equipo eléctrico de la embarcación.

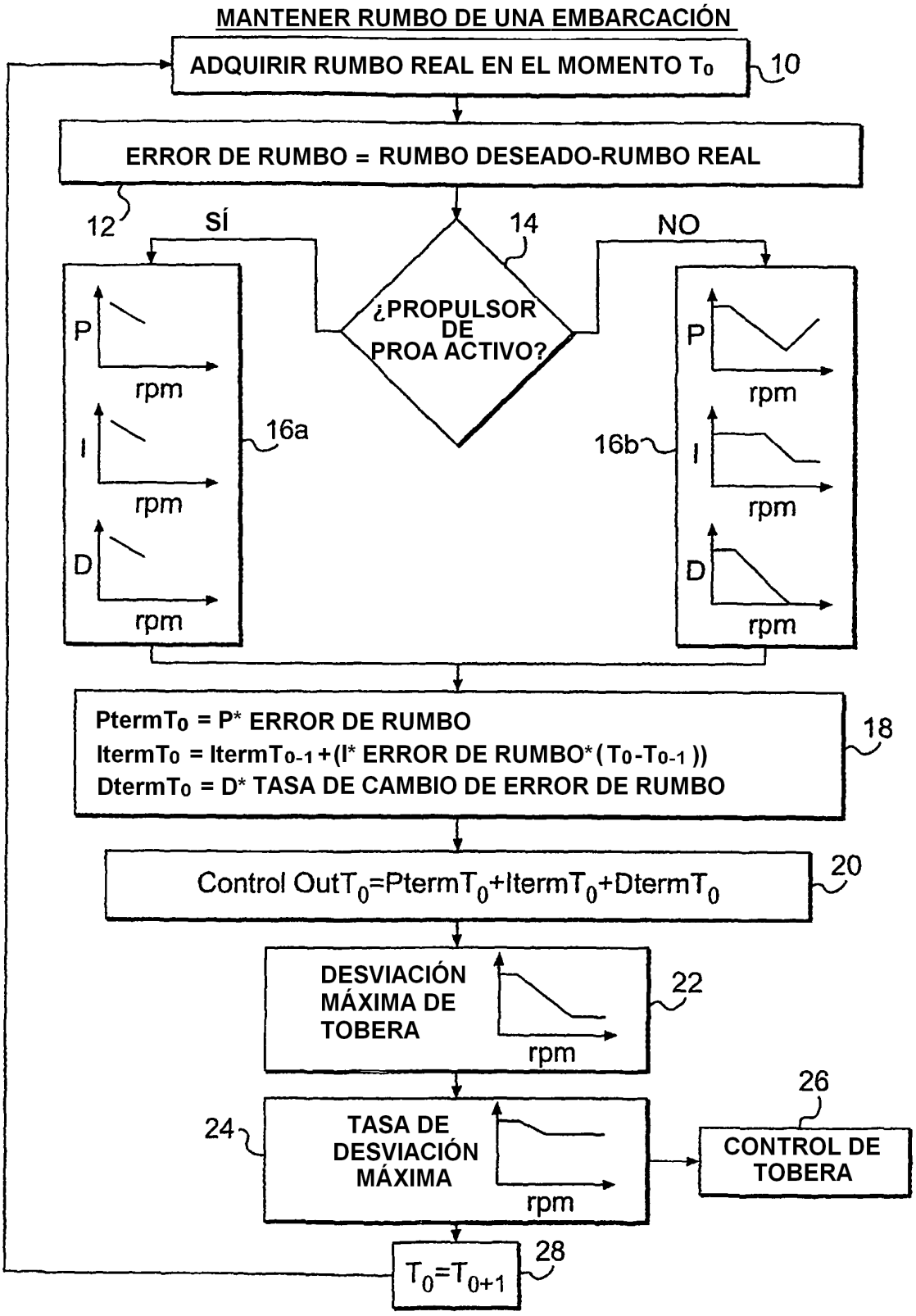
MANTENER RUMBO DE UNA EMBARCACIÓN
ADQUIRIR RUMBO REAL EN EL MOMENTO T0
10
ERROR DE RUMBO = RUMBO DESEADO-RUMBO REAL
12
SÍ
14
NO
¿PROPULSOR DE PROA ACTIVO?
P
rpm
I
rpm
D
rpm
16a
16b
PtermT0 = P* ERROR DE RUMBO
ItermT0 = ItermT0-1 + (I* ERROR DE RUMBO* (T0-T0-1))
DtermT0 = D* TASA DE CAMBIO DE ERROR DE RUMBO
18
Control OutT0=PtermT0+ItermT0+DtermT0
20
DESVIACIÓN MÁXIMA DE TOBERA
22
TASA DE DESVIACIÓN MÁXIMA
24
26
CONTROL DE TOBERA
T0=T0+1
28

FIG. 1

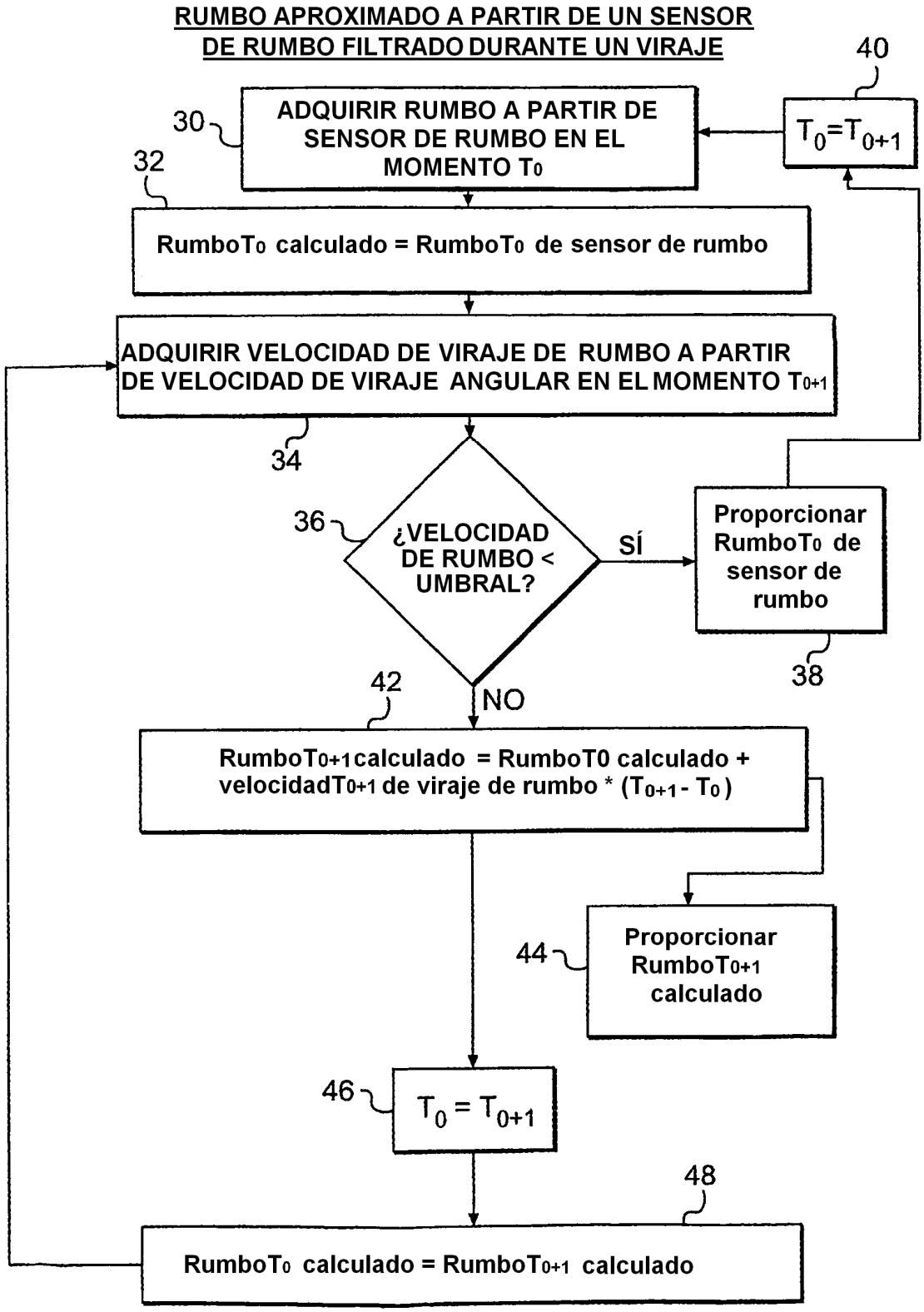
RUMBO APROXIMADO A PARTIR DE UN SENSOR DE RUMBO FILTRADO DURANTE UN VIRAJE
40
30
ADQUIRIR RUMBO A PARTIR DE SENSOR DE RUMBO EN EL MOMENTO T0
T0=T0+1
32
RumboT0 calculado = RumboT0 de sensor de rumbo
ADQUIRIR VELOCIDAD DE VIRAJE DE RUMBO A PARTIR DE VELOCIDAD DE VIRAJE ANGULAR EN EL MOMENTO T0+1
34
36
¿VELOCIDAD DE RUMBO < UMBRAL?
SÍ
Proporcionar RumboT0 de sensor de rumbo
38
42
NO
RumboT0+1 calculado = RumboT0 calculado + velocidadT0+1 de viraje de rumbo * (T0+1 - T0)
44
Proporcionar RumboT0+1 calculado
46
T0 = T0+1
48
RumboT0 calculado = RumboT0+1 calculado

FIG. 2

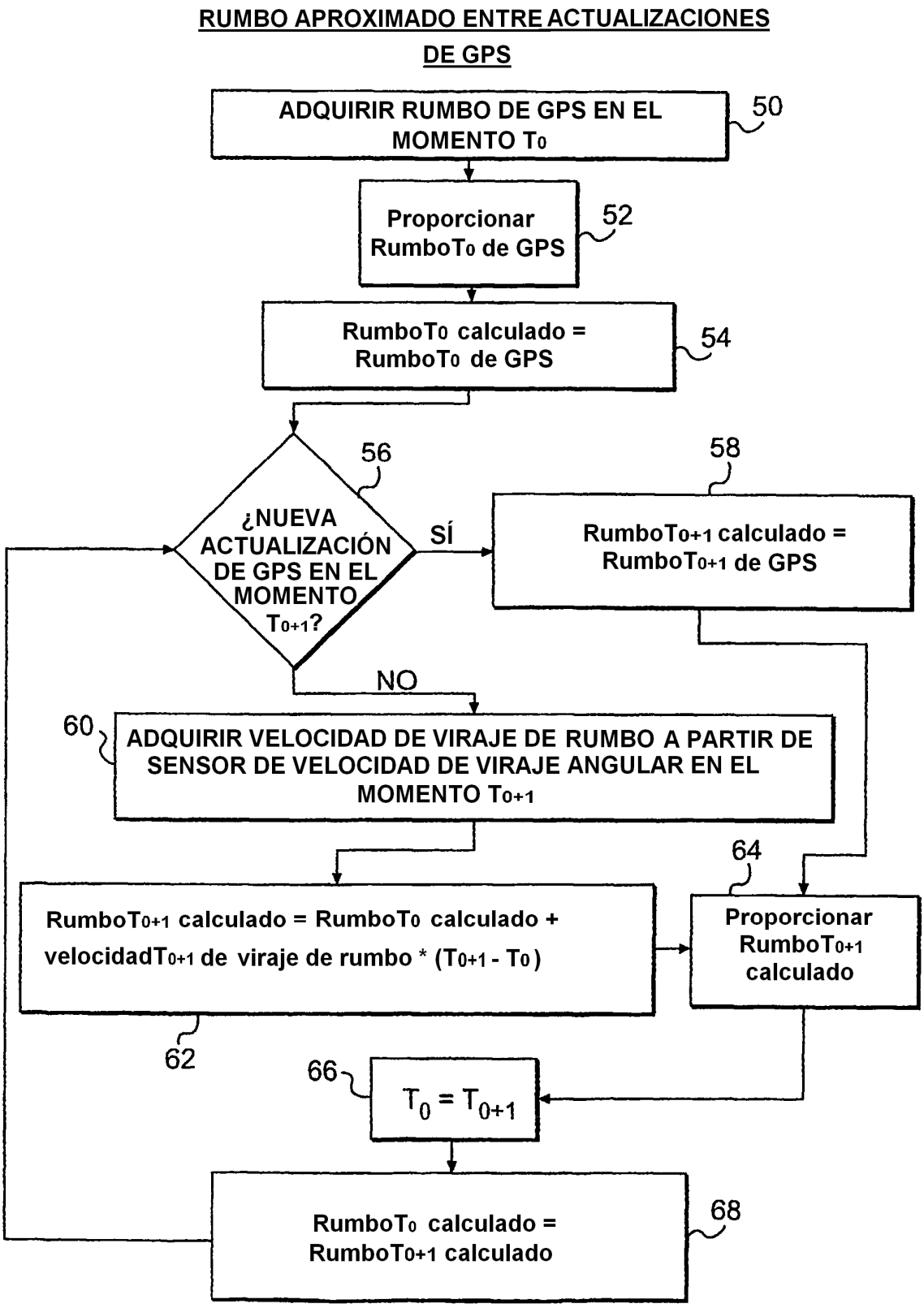
RUMBO APROXIMADO ENTRE ACTUALIZACIONES DE GPS
ADQUIRIR RUMBO DE GPS EN EL MOMENTO T0
50
Proporcionar RumboT0 de GPS
52
RumboT0 calculado = RumboT0 de GPS
54
56
¿NUEVA ACTUALIZACIÓN DE GPS EN EL MOMENTO T0+1?
SÍ
58
RumboT0+1 calculado = RumboT0+1 de GPS
NO
60
ADQUIRIR VELOCIDAD DE VIRAJE DE RUMBO A PARTIR DE SENSOR DE VELOCIDAD DE VIRAJE ANGULAR EN EL MOMENTO T0+1
64
RumboT0+1 calculado = RumboT0 calculado + velocidadT0+1 de viraje de rumbo * (T0+1 - T0)
Proporcionar RumboT0+1 calculado
62
66
T0 = T0+1
RumboT0 calculado = RumboT0+1 calculado
68

FIG. 3

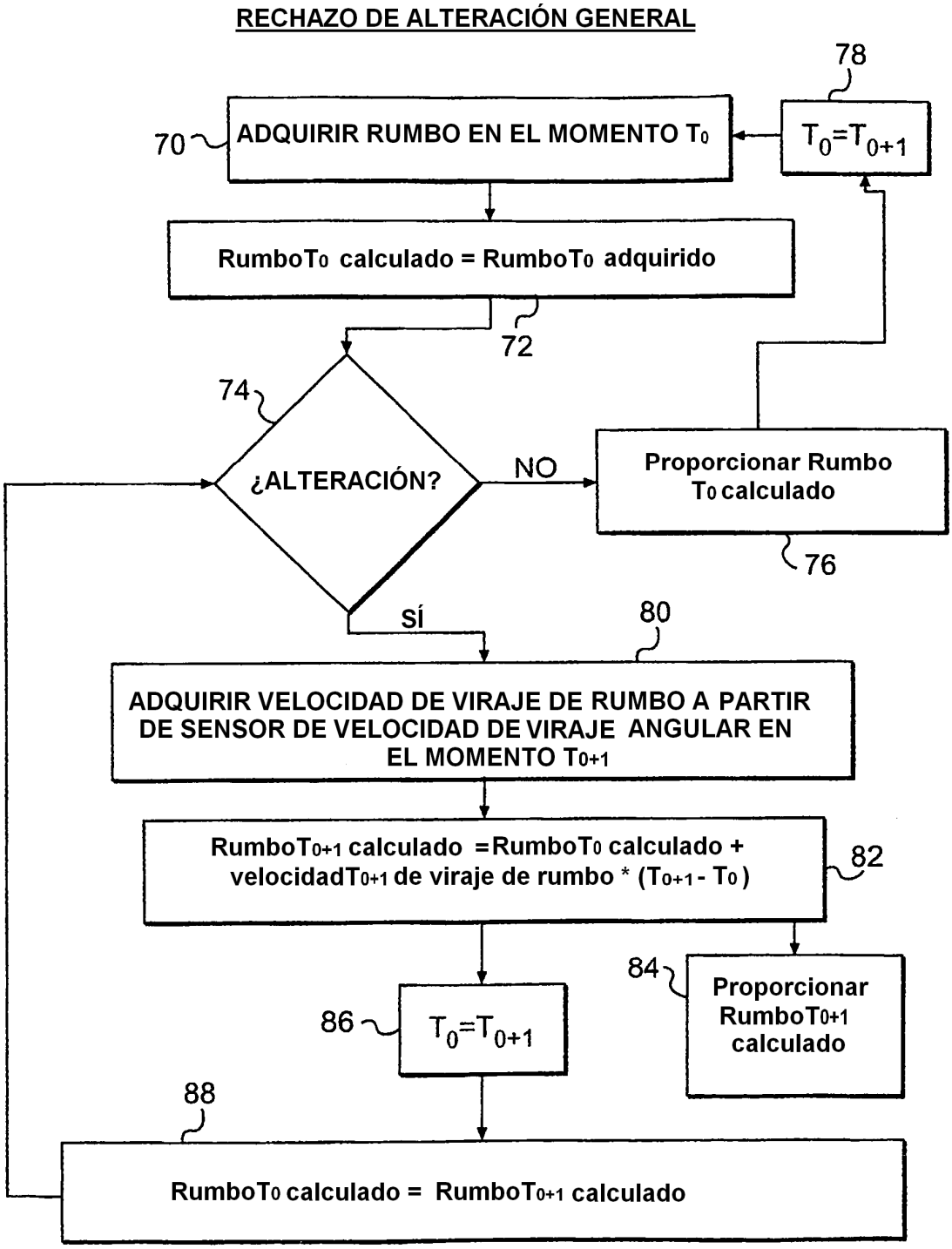
RECHAZO DE ALTERACIÓN GENERAL
78
70
ADQUIRIR RUMBO EN EL MOMENTO T0
T0=T0+1
RumboT0 calculado = RumboT0 adquirido
72
74
¿ALTERACIÓN?
NO
Proporcionar Rumbo T0 calculado
76
SÍ
80
ADQUIRIR VELOCIDAD DE VIRAJE DE RUMBO A PARTIR DE SENSOR DE VELOCIDAD DE VIRAJE ANGULAR EN EL MOMENTO T0+1
RumboT0+1 calculado =RumboT0 calculado + velocidadT0+1 de viraje de rumbo * (T0+1 - T0)
82
84
Proporcionar RumboT0+1 calculado
86
T0=T0+1
88
RumboT0 calculado = RumboT0+1 calculado

FIG. 4

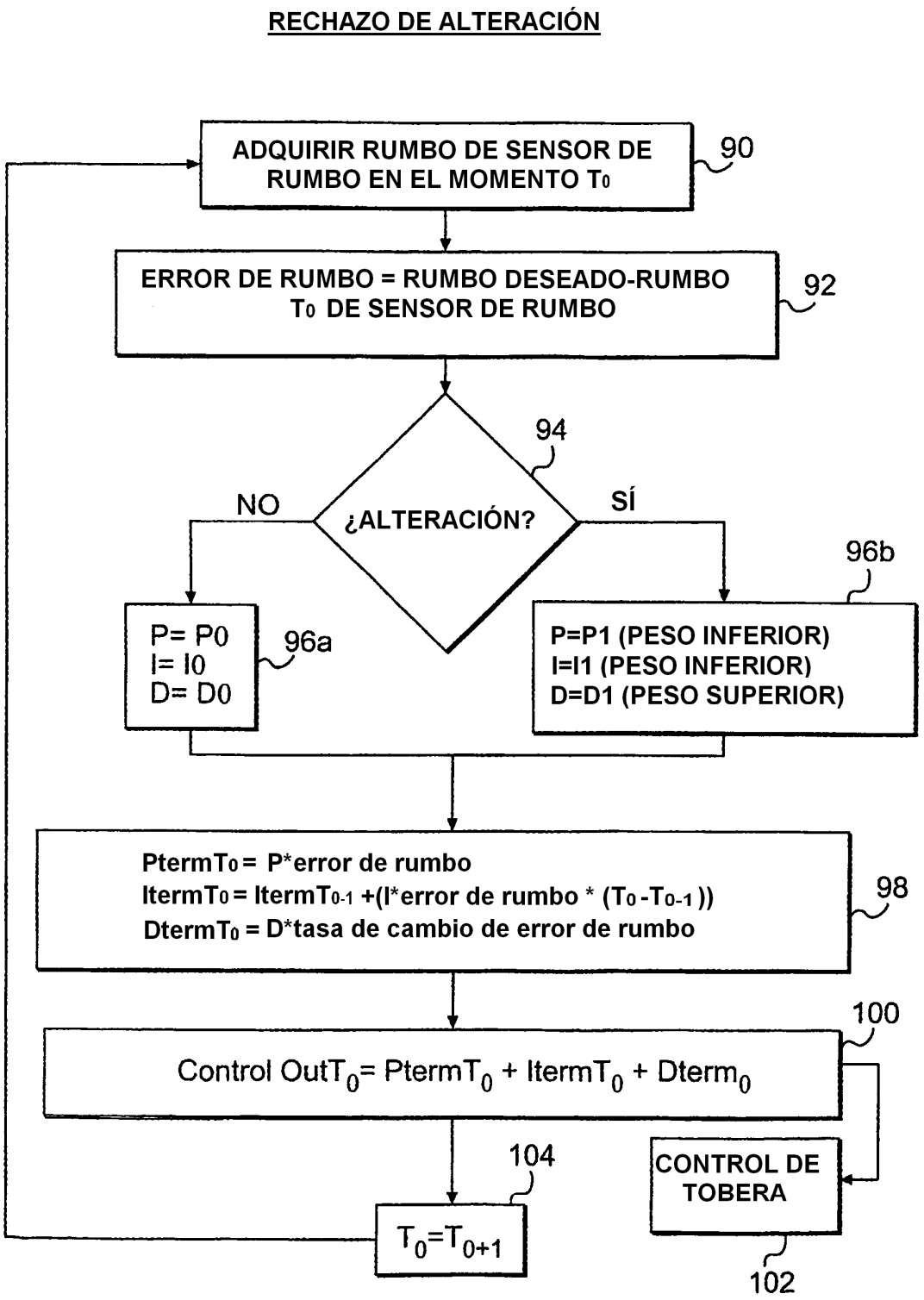
RECHAZO DE ALTERACIÓN
ADQUIRIR RUMBO DE SENSOR DE RUMBO EN EL MOMENTO T0
90
ERROR DE RUMBO = RUMBO DESEADO-RUMBO T0 DE SENSOR DE RUMBO
92
94
¿ALTERACIÓN?
NO
SÍ
96b
P= P0
I= I0
D= D0
96a
P=P1 (PESO INFERIOR)
I=I1 (PESO INFERIOR)
D=D1 (PESO SUPERIOR)
PtermT0 = P*error de rumbo
ItermT0 = ItermT0-1 +(I*error de rumbo * (T0 -T0-1))
DtermT0 = D*tasa de cambio de error de rumbo
98
100
Control OutT0= PtermT0 + ItermT0 + Dterm0
104
CONTROL DE TOBERA
T0=T0+1
102

FIG. 5

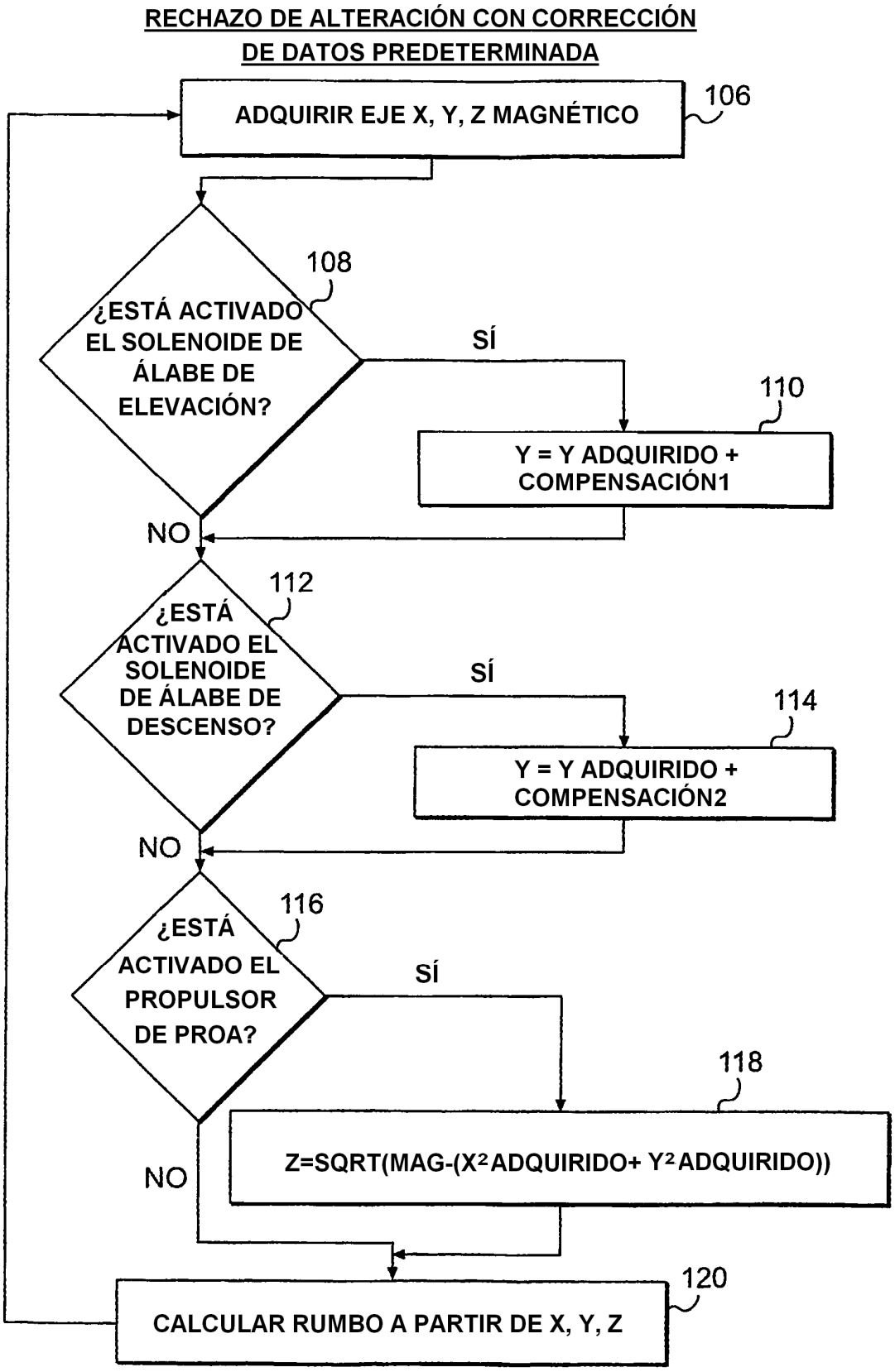
RECHAZO DE ALTERACIÓN CON CORRECCIÓN DE DATOS PREDETERMINADA
ADQUIRIR EJE X, Y, Z MAGNÉTICO
106
¿ESTÁ ACTIVADO EL SOLENOIDE DE ÁLABE DE ELEVACIÓN?
108
SÍ
Y = Y ADQUIRIDO + COMPENSACIÓN1
110
NO
¿ESTÁ ACTIVADO EL SOLENOIDE DE ÁLABE DE DESCENSO?
112
SÍ
Y = Y ADQUIRIDO + COMPENSACIÓN2
114
NO
¿ESTÁ ACTIVADO EL PROPULSOR DE PROA?
116
SÍ
Z=SQRT(MAG-(X²ADQUIRIDO+ Y²ADQUIRIDO))
118
NO
CALCULAR RUMBO A PARTIR DE X, Y, Z
120

FIG. 6

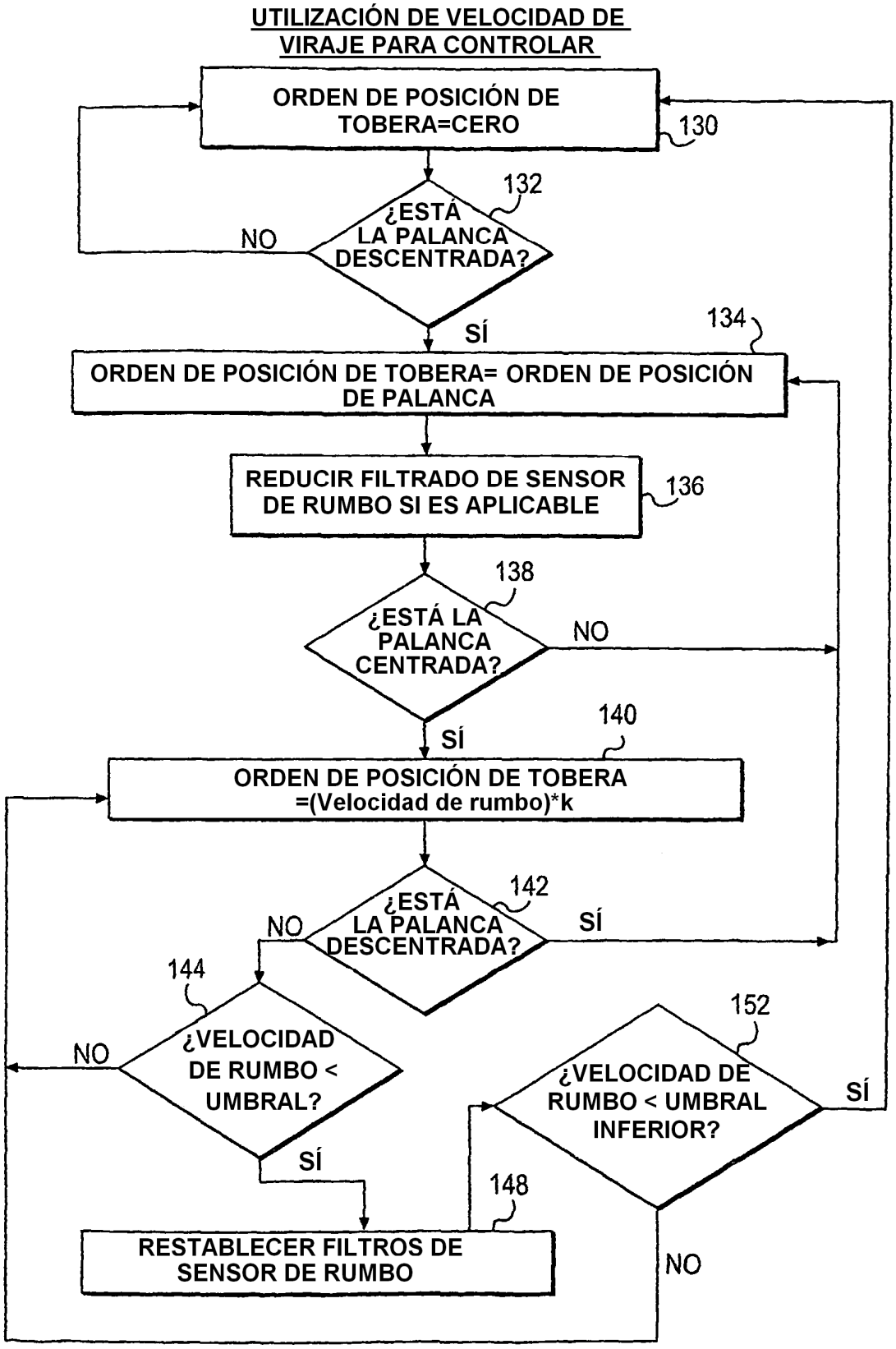
UTILIZACIÓN DE VELOCIDAD DE VIRAJE PARA CONTROLAR
ORDEN DE POSICIÓN DE TOBERA=CERO
130
132
¿ESTÁ LA PALANCA DESCENTRADA?
NO
SÍ
134
ORDEN DE POSICIÓN DE TOBERA= ORDEN DE POSICIÓN DE PALANCA
REDUCIR FILTRADO DE SENSOR DE RUMBO SI ES APLICABLE
136
138
¿ESTÁ LA PALANCA CENTRADA?
NO
SÍ
140
ORDEN DE POSICIÓN DE TOBERA =(Velocidad de rumbo)*k
142
¿ESTÁ LA PALANCA DESCENTRADA?
NO
SÍ
144
¿VELOCIDAD DE RUMBO < UMBRAL?
NO
SÍ
152
¿VELOCIDAD DE RUMBO < UMBRAL INFERIOR?
SÍ
NO
148
RESTABLECER FILTROS DE SENSOR DE RUMBO

FIG. 7